



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

trabalhos selecionados  
representativos do  
curriculum vitae

Bento António Fialho Caeiro Caldeira

Trabalhos mencionados no curriculum vitae, setembro de 2022



Trabalhos mencionados no currículo, a que se refere a alínea d) do nº 2 do artigo 8º do Decreto-lei nº 239/2007 de 19 de junho, sobre os documentos que devem acompanhar o requerimento de realização de provas de agregação.



# Enquadramento Geral

---

Como referido na nota introdutória do CV e como facilmente se depreende nas atividades nele listadas, até 2010 a Sismologia constitui núcleo central da pesquisa desenvolvida, nomeadamente nos subdomínios: a) fonte sísmica e modelação do processo de rotura; b) sismicidade e sismotectónica; c) risco sísmico e d) Instrumentação sísmica / redes sísmicas. A partir dessa altura, por força das competências e recursos materiais adquiridos em geofísica aplicada para resolver problemas levantados pelas pesquisas na área da sismologia, a minha ação estendeu-se à pesquisa e estabelecimento de novas metodologias de prospeção em diferentes áreas, especialmente arqueologia e património.

Desta forma procurei seleccionar um conjunto de trabalhos representativos dessas áreas de investigação.

# Artigo 1

---

Caldeira B., Bezzeghoud M, Borges JF. (2010). DIRDOP: a directivity approach to determining the seismic rupture velocity vector. *J Seismology*, **14**: 565–600.

Este artigo foi selecionado por ser um trabalho efetuado na continuação do meu doutoramento. De certa forma ele constitui um marco de continuidade uma vez que continuo a investigar nessa área. Atualmente ocupo-me da inversão da forma de onda registada a distâncias regionais para a modelação da fonte de sismos de média dimensão ( $3.5 < M < 5.5$ ) que envolve conceitos e questões levantadas neste artigo. Basicamente o artigo apresenta um método para determinar a direção, o sentido e a velocidade da rotura de fontes sísmicas extensas, isto é, fontes com dimensões de rotura tal que não é possível caracterizá-las com correção através de modelos de fonte pontual. Estão nesta categoria as fontes dos maiores sismos (com magnitude superior a  $\sim 5.5$ ) ou a fonte de sismos mais pequenos quando observadas de perto (a distâncias comparáveis com a dimensão da rotura). O método apresentado neste artigo baseia-se na constatação que a radiação que procede de fontes extensas cuja rotura evolui segundo direções preferenciais, apresenta peculiaridades que a distingue da proveniente de fontes pontuais. Essas peculiaridades, os chamados efeitos diretivos, manifestam-se por subtis desvios espectrais em função do local de observação. O modelo físico-matemático que sustenta o método apresentado, denominado DIRDOP (DIREtividade por efeito DOPpler) foi obtido a partir de uma análise Doppler da diretividade da rotura, admitindo um modelo de fonte extensa do tipo Haskell, definido por uma sequência de sub-eventos (fontes de radiação) que se sucedem sobre um plano de falha.

Este método apesar de permite resolver a delicada questão que se coloca nas inversões da forma de onda para a modelação de fontes sísmicas extensas, que é a de se fixar a direção da rotura e a velocidade de rotura (dois parâmetros que é preciso constranger), a verdade é que na maior parte dos estudos apresentados se continua a fixar estes parâmetros de forma empírica: considerar que a direção da rotura coincide com um dos planos do mecanismo focal e a velocidade de rotura tem um valor entre 2.4 e 3.5 km/s que se afina por tentativa e erro. Creio que a uma das razões para que este método não seja mais extensivamente utilizado nesses casos tem a ver com a exigência que de facto apresenta relativamente à preparação e pré-processamento de dados.

## Artigo 2

---

Custódio, S., Dias, N. A., Caldeira, B., Carrilho, F., Carvalho, S., Corela, C., C., Díaz, J., Narciso, J., Madureira, G., Matias, L., Haberland, C. (2014). Ambient noise recorded by a dense broadband seismic deployment in western Iberia. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **104**(6): 2985-3007.

Este artigo publicado numa das revistas de maior prestígio na área da sismologia, o *Bulletin of the Seismological Society of America*, surge no âmbito do estudo das condições de funcionamento das redes sismológicas e seu controlo de qualidade, um dos temas da minha atividade científica. Neste trabalho, descreveremos um conjunto de ações desenvolvidas para caracterizar a qualidade dos dados registados por uma rede sismológica montada no âmbito do projeto WILLAS e em funcionamento durante mais de um ano e as soluções encontradas para eliminar os principais fatores que possam prejudicar essa qualidade. Inclui, para além da avaliação da orientação dos sensores, a caracterização do ruído de fundo nas bandas de curto período (SP) e longo período (LP). Através deste estudo foi possível relacionar as variações diárias do ruído SP com a atividade antrópica e constatar os tipos de ruído característico registados por diferentes tipos de instrumento. Descobrimos, por exemplo que os níveis médios de ruído são extremamente homogêneos na banda microssísmica (3-20 s), mas variam amplamente fora dessa faixa; as amplitudes do ruído microssísmico apresentam uma forte variação sazonal dominada por microssismos associados a tempestades de inverno e outros fenómenos meteorológicos oceânicos ocorridos offshore de Portugal.

## Artigo 3

---

Santos, R., Caldeira, B., Bezzeghoud, M., Borges, J.F. (2015). The rupture process and location of the 2003 Zemmouri- Boumerdes earthquake (Mw 6.8) inferred from seismic and geodetic data, *Pure and Applied Geophysics*, **172(9)**: 2421-2434, doi: 10.1007/s00024-014-0978-5 <http://hdl.handle.net/10174/16459>.

Este artigo foi selecionado por representar um trabalho pioneiro desenvolvido no âmbito da primeira tese de Doutoramento que orientei na área da utilização da geodesia para a caracterização da fonte sísmica. Foi aplicado um cruzamento de métodos sísmicos e geodésicos para caracterizar a fonte do sismo de Arequipa (Argélia) de 2003, Mw 6.8. Parte-se da inversão da forma de onda a distâncias telesísmicas, utilizando exatamente o método proposto na minha tese de Doutoramento, para obter o modelo de rotura daquele evento, definido pela distribuição espaço-temporal de deslizamentos sobre o plano de falha. Seguidamente é calculado o campo de deslocamento cosísmico na superfície produzido pelo modelo de rotura obtido, utilizando o algoritmo EDCMP que aplica as equações de Okada. Os três componentes dos deslocamentos superficiais calculados foram projetados em relação à direção do satélite (LOS - linha de visão) para produzir um interferograma de radar de abertura sintética – (DInSAR) sintético. Finalmente esse interferograma sintético é comparado com o respetivo interferograma real produzido com dados registados pelo satélite em duas passagens, uma antes e outra depois do referido sismo. É através desta comparação que é feita a avaliação do modelo de rotura obtido e impostos os ajustes no modelo.

## Artigo 4

---

Buforn, E., Pro, C., de Galdeano, C. S., Cantavella, J. V., Cesca, S., Caldeira, B., Udias, A., & Mattesini, M. (2017). The 2016 south Alboran earthquake (Mw= 6.4): A reactivation of the Ibero-Maghrebian region?. *Tectonophysics*, **712**:704-715.

Este artigo foi selecionado por representar um trabalho colaborativo com investigadores espanhóis com quem trabalho habitualmente. No caso concreto envolveu o estudo a fonte do sismo de Alboran de 2016 (Mw=6.4), através da inversão do tensor momento sísmico com dados sísmicos registados a distâncias regionais.

As condições incomuns que envolvem a ocorrência deste sismo, designadamente ter sido o terceiro evento de magnitude elevada ( $M \sim 6$ ) a ocorrer nos últimos 20 anos numa zona de reconhecido baixo nível de sismicidade, levantaram questões como a enunciada no título (Reactivation of the Ibero-Magrebian region?) ou, em vez disso, se esta ocorrência se pode dever a alguma forma de transferência de tensões regionais, produzida pelos sismos que o antecederam (o de 1994, Mw=5,8 e o de 2004, Mw=6.3). É um fato bem conhecido que a ocorrência de um sismo produz alterações no campo de tensão da região em redor do foco, cujo valor, se calculado, pode ser usado para se estimar se esse sismo atrasa ou antecipa a ocorrência de sismos futuros nas falhas da região. Aumentos da tensão antecipam a ocorrência de novos sismos e diminuições atrasam. A minha contribuição neste trabalho consistiu precisamente em calcular as transferências da tensão de Coulomb (CFS) produzidas pelos sismos de 1994 e 2004, no segmento de falha que rompeu em 2016 (falha recetora) e também calcular as transferências de tensão na zona produzidas pelo sismo de 2016. Através dos resultados obtidos foi possível constatar que a transferência de tensão produzida pelos sismos de 1994 e de 2004 na falha de 2016 foi positiva donde se conclui que a ocorrência deste sismo em 2016 foi antecipada ao que seria se os anteriores não tivessem ocorrido. Outro aspeto que esta contribuição permitiu verificar foi que a localização das réplicas do sismo de 2016 se ajustam muito bem às zonas onde transferências de tensão regional sofreram o maior aumento. Do conjunto dos resultados obtidos neste estudo embora se reconheça que a atividade sísmica da parte central da região Ibero-Magrebiana (IMR) esteja a aumentar, não foi possível confirmar se isso se deve a uma possível reativação da região IMR, continuando a questão em aberto, mas ficou claro que a ocorrência do terremoto em 2016 pode ter sido antecipada pela transferência de tensão produzida a partir dos sismos que o antecederam e os mecanismos focais dos maiores sismos que ocorrem na zona apresentam a roturas complexas.

## Artigo 5

---

Caldeira, B., Oliveira, R. J., Teixidó, T., Borges, J. F., Henriques, R., Carneiro, A., & Peña, J. A. (2019). Studying the Construction of Floor Mosaics in the Roman Villa of Pisões (Portugal) Using Noninvasive Methods: High-Resolution 3D GPR and Photogrammetry. *Remote Sensing*, **11(16)**, 1882, 20pp., doi.org/10.3390/rs11161882.

Este artigo foi selecionado por ser representativo do trabalho desenvolvido nos últimos anos na área da Geofísica aplicada à Arqueologia e ao Património e no sucesso obtido desse investimento. Com este trabalho, para além da pesquisa formal na estrutura estudada, pretendemos demonstrar a capacidade que os métodos geofísicos possuem para extrair informação em ambientes e a escalas não usuais. Foi um estudo onde usámos uma combinação de dados obtidos de duas técnicas não invasivas: radar de penetração no solo (3D GPR) operando com uma antena de alta frequência e fotogrametria de altíssima resolução, para estudar a estrutura interna de um mosaico do piso da Villa Romana de Pisões (Beja, Portugal). Neste contexto, detetámos os principais níveis estruturais do mosaico romano, descritos no manual de construção de *Vitruvius*, e algumas características internas desses níveis, como os sulcos gravados para orientação da decoração, fissuras internas e zonas de maior humidade. Adicionalmente, pretendemos mostrar que um mosaico romano, entendido como uma estrutura arqueológica, não consiste apenas em belos desenhos superficiais definidos pelas tesselas, mas estes mosaicos são elementos muito mais complexos que devem ser considerados na sua totalidade para preservação. A metodologia seguida neste estudo permitiu obter evidências da sua adequabilidade como modelo de diagnóstico prévio aos trabalhos de conservação e restauro, mesmo nas camadas inferiores da estrutura do mosaico, para evitar o aumento dos agentes patológicos que promovem a sua degradação.